

538,510

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 4 月 21 日 (21.04.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/036230 A1

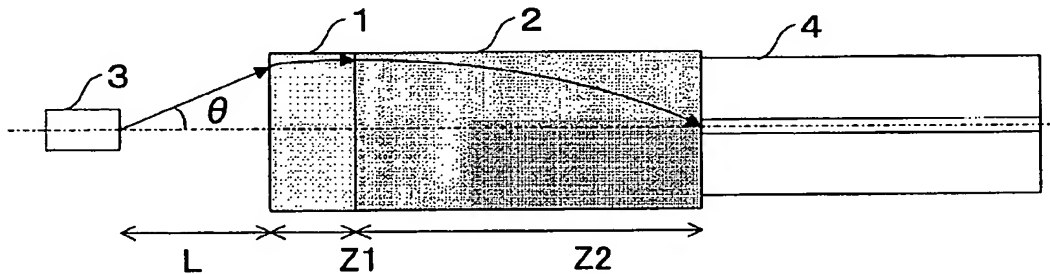
- (51) 国際特許分類: G02B 6/42, 6/32
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/014181
- (22) 国際出願日: 2004 年 9 月 28 日 (28.09.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2003-350075 2003 年 10 月 8 日 (08.10.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 東洋  
ガラス株式会社 (TOYO GLASS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒  
1000011 東京都千代田区内幸町 1 丁目 3 番 1 号 Tokyo  
(JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松村宏 善  
(MATSUMURA, Hiroyoshi) [JP/JP]; 〒3501255 埼玉県

- 日高市武蔵台 1 丁目 3 8-9 Saitama (JP). 鈴木太郎  
(SUZUKI, Taro) [JP/JP]; 〒1440056 東京都大田区西  
六郷 4-3 2-8-6 0 1 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 神戸真 外 (KAMBE, Makoto et al.); 〒  
1600003 東京都新宿区本塩町 7 番地 田中ビル第二  
別館 2 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が  
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,  
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,  
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,  
LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,  
NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,  
SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可  
能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,  
SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,  
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FIBER COUPLING COMPONENT

(54) 発明の名称: 光ファイバ結合部品



(57) Abstract: An optical fiber coupling component capable of reducing a coupling loss with a work distance kept large, and good in module assembling performance. A GRIN lens having a numerical aperture NA larger than the numerical aperture NAs of at least one light emitting source (such as semiconductor laser) is fusion-connected to one end of an optical fiber to enable all the lights emitted from the light emitting source to advance into the GRIN lens, thus reducing a light loss. In addition, a second GRIN lens having a numerical aperture NA2 is fusion-connected to one end of an optical fiber having numerical aperture NAf, and a first GRIN lens having a numerical aperture NA1 larger than NA2 is fusion-connected to the other end of the second GRIN lens to allow lights emitted from a light emitting source to efficiently enter an optical fiber, thus reducing a light loss. In this case the following relations are desirable.  $NAf \leq NA2 < NAs \leq NA1$

(57) 要約: 作動距離を大きく保ちつつ結合損失を低減させることが可能で、且つモジュール組立て性の良い光ファイバ結合部品を開発する。光ファイバの一端に少なくとも1つ発光源(半導体レーザなど)の開口数NAsよりも大きな開口数NAをもつGRINレンズを融着接続することで、発光源から放射された光を全てGRINレンズ内に進入させることができ、光の損失を低減できる。また、開口数NAfの光ファイバの一端に開口数NA2の第二のGRINレンズを融着接続し、さらに前記第二のGRINレンズの他端にNA2よりも大きな開口数NA1の第一のGRINレンズを融着接続することで、発光源から放射された光を効率よく光ファイバ内に進入させることができ、光の損失を低減できる。この場合、 $NAf \leq NA2 < NAs \leq NA1$ とすることが望ましい。

WO 2005/036230 A1



CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則4.17に規定する申立て:

- USの指定のための先の出願に基づく優先権を主張する出願人の資格に関する申立て(規則4.17(iii))
- USの指定のための先の出願に基づく優先権を主張する出願人の資格に関する申立て(規則4.17(iii))

- USのみのための発明者である旨の申立て (規則4.17(iv))

添付公開書類:

- 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

### 光ファイバ結合部品

### 技術分野

- [0001] 本発明は、光通信において使用される半導体レーザ等の発光源と光ファイバとを高効率で結合する光ファイバ結合部品に関する。

### 背景技術

- [0002] 半導体レーザと光ファイバとを高効率で結合する技術は、光通信においては最も重要な技術の一つである。例えば、従来から球レンズや非球面レンズなどのレンズを用いる方法や、光ファイバ先端を球面に形成した先球ファイバによる方法(特許文献1参照)などが用いられている。レンズを用いる方法は、結合効率を比較的高くとれる特長がある半面、半導体レーザ、レンズ、光ファイバ相互間の軸合わせが繁雑になるうえ、結合系全体が大きくなるとともに製造コストが増大するという問題があった。また、レンズの寸法が大きく配置スペースを取られるために、複数の半導体レーザや複数の光ファイバが短い間隔で並んでいる半導体レーザアレイと光ファイバアレイとの結合には使用することができない。一方、先球ファイバによる方法は、小型であるために半導体レーザアレイと光ファイバアレイとの結合が可能である。この先球光ファイバは、単一モード光ファイバの先端に半球状のレンズ部を一体形成したものであるが、先球光ファイバを作製するには、従来、ファイバの先端部を丸く研磨していたので、量産性が悪く、手間がかかるという問題点があった。その上、光ファイバの先端が球面であるために、球面収差によって結合効率の低下が生じるという問題がある。即ち、レーザ端面から出射した光線はその出射角により、単一モード光ファイバ端面に異なった位置及び角度で到達する。このため、光線によってはコアから外れたり、あるいはコアに達しても、コアへの入射角が臨界角以上となって単一モード光ファイバを伝搬する光線にならず、結合損失が低下する。例えば、標準的な半導体レーザを用いたときの結合損失は6dB前後ある。
- [0003] これらの問題を解決するために、軸合わせが容易な円柱状の分布屈折率レンズ(Graded Indexレンズ、以下、「GRINレンズ」と略す。)などが用いられている。GRINレ

レンズは、屈折率が一様でない(中心に近いほど屈折率が高い)媒質を用いたレンズで、屈折率が連続的に変化することでレンズ作用をするレンズである。このGRINレンズの半径方向の屈折率分布 $n(r)$ は

$$n(r) = n_0 (1 - (1/2)(gr)^2)$$

で表される(図1)。ここで $n(r)$ は中心からの距離 $r$ の位置の屈折率、 $n_0$ は中心部の屈折率、 $g$ はGRINレンズの集光能力を表わす定数である。このレンズは球面収差は比較的小さいが、従来存在するGRINレンズでは、その臨界角が $20^\circ$ 以下と小さいため、標準的な放射半値全角 $\theta$ がほぼ $25^\circ$ である光通信用の半導体レーザからの光を充分に取り入れることが出来ず結合損失が大きかった。そのために、ボールレンズとGRINレンズとの組合せが使用されることが多いが、軸合わせが難しく、組立てコストが増大する要因になっていた。また、GRINレンズの先端を球状に切削加工して見かけのNAを上げる(集光能力を高める)工夫もなされているが、量産性が悪く、手間がかかり、製造コストが増大するという問題点があった。また、従来、GRINレンズは多成分系ガラスで作製されており、その軟化点は約 $500\sim 600^\circ\text{C}$ で、石英ガラスを主成分とする光ファイバと融着接合することが出来ず、光学接着剤を使用するため、軸合わせが難しいと共に、接着剤の光吸収により高強度光が入射した場合、温度上昇し接着剤が変質することにより光学特性が劣化するという問題があった。

[0004] この接続劣化の問題を解決するために、GI(Graded-Index)光ファイバをレンズとして用いた構造も提案されている(特許文献2、3参照)。このGI光ファイバは、コア部分の屈折率が、放物線状に変化する光ファイバである。GI光ファイバは、光ファイバと同じ石英製のため光ファイバと融着接続することが可能で、高強度光に対する耐性を得ることが期待できる。しかし、この場合、GI光ファイバの臨界角が $20^\circ$ 以下と小さい(集光能力が小さい)ことから、標準的な放射半値全角がほぼ $25^\circ$ である光通信用の半導体レーザからの光を充分に取り入れることが出来ず結合損失が大きく、また実際にレンズとして組み立てる際の取扱性が悪いものであった。

特許文献1:米国特許第3910677号公報

特許文献2:米国特許第4701011号公報

特許文献3:米国特許第5384874号公報

特許文献4: 特開平8-292341号公報

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

[0005] 上記の問題を解決するためには、半導体レーザの放射角を十分にカバーしうる光の集光能力の高い(開口数の大きい)GRINレンズの開発が望まれる。特に、標準的な半導体レーザの放射半値全角は $25^\circ$ 以上であるため、半導体レーザの光を十分にGRINレンズに導くためには少なくとも臨界角が $25^\circ$ 以上を有するGRINレンズを開発する必要がある。臨界角は、光が光ファイバやGRINレンズにその軸線に対して傾いて入射する場合、光が光ファイバやGRINレンズ内に進入可能な軸線に対する最大角度である。通常臨界角の正弦関数を開口数Numerical Aperture(以下、「NA」と略す。)と称する。半導体レーザの放射半値全角が $25^\circ$ の場合、その開口数NAは0.43であるので、NAが0.43以上のGRINレンズであれば、半導体レーザの光を全てレンズ内に進入させることが可能となるから、このようなGRINレンズが要求されている。その上、半導体レーザとGRINレンズ、光ファイバの光軸合わせを容易にするためにGRINレンズの熱膨張係数は、光ファイバとの融着接続を可能にするために石英の熱膨張係数 $5 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$ に対して $15 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$ 以下が要求される。この融着接続は、生産性向上の必須技術であり、融着接続することにより、光ファイバとレンズの境界面から反射されて半導体レーザに戻る光が軽減されるばかりか、従来のような接着剤を用いた接続のように、接着剤の光吸収により高強度光が入射した場合、温度上昇し接着剤が変質することにより光学特性が劣化するという問題も解消する。また、ほぼ同じ断面形状を有する光ファイバとGRINレンズを酸水素バーナなどの火炎のもとで融着すると自己配列効果(溶けたガラスの表面張力により光ファイバとGRINレンズの双方の中心軸が自然に一致する効果)により、これまでの懸案であった精密な軸合わせを行うことなく光ファイバとレンズの中心軸が一致し、組立て性が大幅に向上するという大きなメリットがある。

[0006] このような光の集光能力の高いGRINレンズを用いて半導体レーザの光を効率よく集光するためには、光ファイバの先端にNAの高いGRINレンズを直接融着接続する方法としてもよいが、そのときには3-4dB程度の結合損失を覚悟しなければならない。こ

の理由は、半導体レーザ端面から放射した光は、NAの高いGRINレンズの集光効果により単一モード光ファイバの端面に集光するが、放射角度の大きな光の一部は光ファイバの臨界角以上の角度で到達するためである。特に半導体レーザの臨界角(この正弦関数=開口数をNAsと呼ぶ。)が光ファイバの臨界角(この正弦関数=開口数をNAfと呼ぶ。)よりも大きな場合には、光線の放射角度によっては光ファイバのコアから外れたり、あるいはコアに達しても、コアへの入射角が臨界角以上となって単一モード光ファイバに入射できず、結合損失が低下するという問題があった。

[0007] 上記の問題を解決するために、コアとクラッドとを有する単一モード光ファイバの一端とコアレス光ファイバの他端とを伝搬光の蛇行周期の $1/4$ の長さあるいはその奇数倍の長さの二乗形屈折率分布を有する二乗形光ファイバ(GRINレンズに相当する。)で接続したレンズ付き光ファイバ(特許文献4参照)が提案されている。レンズ付き光ファイバは、コアとクラッドとを有する単一モード光ファイバに、伝搬光の蛇行周期の $1/4$ の長さあるいはその奇数倍の長さの二乗形屈折率分布を有する二乗形光ファイバ(GRINレンズに相当する。)を接続したものである。ここで、二乗形光ファイバは、コアとクラッドとを有し、先端が半球状に形成されている。上記の光ファイバを使用すると、半導体レーザと結合したときの結合損失が4dB前後まで低減されたが、実用上要求される結合損失(3dB以下)を満足するものではなかった。一般に、半導体レーザと光ファイバとの結合損失は、小さければ小さいほど光通信システムが高性能になり、システムの構築も容易になる。また先端が半球状に形成されているため、製造歩留まりが悪くコスト高になっていた。先端の半球状レンズと半導体レーザとの結合効率を極端に低下させないためには、半球状レンズと半導体レーザの端面との間の距離、即ち、作動距離を $10\mu\text{m}$ 前後にしなければならない。このため、半球状レンズ付き光ファイバを半導体レーザと結合した結合系を組み立てる際に、半導体レーザと半球状レンズとが衝突して、使用不能になる欠点があった。

[0008] しかしながら、作動距離を大きく保ちつつ、より低い結合損失を実現し、更に、半導体レーザ、レンズと光ファイバの光軸合わせが簡易であるという要求を同時に満足することは、従来のレンズ付き光ファイバに関する技術では不可能であった。本発明は上記の点に鑑みてなされたもので、作動距離を大きく保ちつつ結合損失を低減させ

ることが可能で、且つモジュール組立て性の良いGRINレンズ付き光ファイバとレーザーモジュールを提供することを目的とする。

#### 課題を解決するための手段

- [0009] (構成1) 本発明は、光ファイバの一端に少なくとも1つ発光源(半導体レーザーなど)の開口数 $NA_s$ よりも大きな開口数 $NA$ をもつGRINレンズを融着接続したことを特徴とする光ファイバ結合部品である。
- [0010] 本発明の光ファイバ結合部品は、GRINレンズ側の端部を発光源に対向して配置し、他端に光通信用の光ファイバを接続することで、発光源から放射された光を効率よく光通信用の光ファイバに送り込むものである。GRINレンズは、前記のように、屈折率が一様でない(中心に近いほど屈折率が大い)媒質を用いたレンズで、屈折率が連続的に変化することでレンズ作用をするレンズである。図1はGRINレンズの説明図で、左側に半径方向の屈折率分布、右側に斜視図を示す。同図に示されるように、GRINレンズは二乗型屈折率分布となっている。発光源(半導体レーザーなど)の開口数 $NA_s$ は、放射半値全角(図2の $\theta$ )の正弦関数、GRINレンズの開口数 $NA$ はGRINレンズの臨界角の正弦関数であり、開口数の大きな発光源ほど光が広がって放射され、開口数の大きなGRINレンズほど集光能力が高くなる。
- [0011] 従来、半導体レーザーの開口数 $NA_s$ よりも大きな開口数 $NA$ を持ち、かつ、光ファイバに融着可能なGRINレンズは存在しなかったが、下記に述べる方法及び実施例により製造可能となった。GRINレンズの開口数が発光源の開口数よりも大きいので、発光源から放射された光を全てGRINレンズ内に進入させることができ、光の損失を低減できる。
- [0012] (構成2) また本発明は、前記構成1の結合部品において、前記開口数 $NA$ が0.43以上であることを特徴とする光ファイバ結合部品である。前記のように、一般的な発光源(半導体レーザー)の開口数は0.43であるから、GRINレンズの開口数を0.43以上とすることで、一般的な発光源よりも大きな開口数となる。
- [0013] (構成3) また本発明は、前記構成1又は2の結合部品において、前記GRINレンズは熱膨張係数が $15 \times 10^{-7} K^{-1}$ 以下であり、且つゾルゲル法により作成されたことを特徴とする光ファイバ結合部品である。GRINレンズは熱膨張係数を $15 \times 10^{-7} K^{-1}$ 以下とする

ことで、石英ガラスである光ファイバとの融着を瑕疵なく行うことができるようになり、生産性に優れ(軸合わせ不要、歩留まり向上など)、GRINレンズと光ファイバの接続部の変質、光の損失の問題が解消される。このような熱膨張率のGRINレンズはゾルゲル法によって製造可能となる。ゾルゲル法については下記に詳述する。

- [0014] NAが高く、且つ熱膨張係数が石英ガラスとほぼ同等であるというGRINレンズを形成するには、従来のようなイオン交換法や気相CVD (Chemical Vapor Deposition) 法では非常に難しい。イオン交換法で作られるGRINレンズは、アルカリ成分を含む多成分ガラスのため、熱膨張係数が非常に大きくなって耐熱性の問題で信頼性に乏しかった。また、気相法では、0.38のNA(例えば文献;P.B.O'Connorほか:

Electron.Lett.,13(1977)170-171)が得られているが、それ以上のNAを得るために添加物( $\text{GeO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  など)の添加量を増やしていくと、熱膨張係数が大きくなり母材が割れやすくなる。これら熱膨張の整合が高NAの課題であった。

- [0015] この問題を解決できる唯一の方法は低温合成法を基盤としたゾルゲル法である。ゾルゲル法は、シリコンのアルコキシド( $\text{Si}(\text{OR})_4$  (R:アルキル基))を主成分とするアルコール溶液に、溶媒として酸または塩基を添加し加水分解することでゾルとし、多成分系のガラスを作製する場合にはさらに金属成分を添加し、このゾルをさらに重縮合反応させることで、架橋反応を進行させウェットゲルを作製している。そして、得られたウェットゲルを乾燥し、ゲル中の溶媒を除去後、焼成することで緻密なガラスを作製している。ゾルゲル法を用いてGRINレンズを作製する場合には、金属成分に濃度分布を形成することが必要となる。金属成分の濃度が濃い部分は屈折率が大きくなるから、GRINレンズの中心部の濃度を濃くし、外側ほど濃度が薄くなるようにする。金属成分の原料として金属アルコキシド、金属塩を用いる方法、更には分子スタッフィング法などがある。

- [0016] 本発明のGRINレンズに添加する、屈折率を高くするための金属成分を検討するため、二元系シリカガラスの屈折率を、良く知られたLorentz-Lorenzの計算式を用いて予測したところ、GRINレンズの金属添加物成分の候補として、 $\text{SiO}_2$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $-\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $-\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $-\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $-\text{Ga}_2\text{O}_3$ 、 $-\text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $-\text{Gd}_2\text{O}_3$ 、 $-\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $-\text{SnO}_2$ 、 $-\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $-\text{TiO}_2$



及び $\text{ZrO}_2$ が挙げられた。この中で、Bi、In、Y、Laを含む組成は、添加元素のアルコキシドがいずれも難溶性固体で、ゲルが作製できないことが分かった。また、Gd、Gaを含む組成は、添加物が少ない領域(Siに対する添加量が20mol%以下)では0.3以下の開口数(NA)しか得られなかった。また、Nb、Sn添加ガラスは結晶性物質の存在が認められるとともに、熱膨張係数が大きくGRINレンズとしては不適であった。また、Sb添加ガラスは、ゲルの焼結時に添加元素のSbが蒸発するという、またZr添加ガラスは、加水分解反応は比較的早く、ゲル作成の過程で、溶媒であるメタノール中で少量では有るが沈殿が形成されるというプロセス上の不安定性を有していた。

- [0017] 以上の検討結果から、 $\text{SiO}_2\text{--Sb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2\text{--Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SiO}_2\text{--Ti}_2\text{O}_3$  及び $\text{SiO}_2\text{--ZrO}_2$ 系石英ガラスが、更に願わくば、プロセスの安定性を考慮し、 $\text{SiO}_2\text{--Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SiO}_2\text{--Ti}_2\text{O}_3$ 系石英ガラスでが好適であり、それぞれTa:10mol%、Ti:12mol%をゾルゲル法で添加すれば、NAが高く、熱膨張係数が石英ガラスに近似したGRINレンズを作製できることが判明した。
- [0018] (構成4)また本発明は、開口数NA1の光ファイバの一端に開口数NA2の第二のGRINレンズを溶融接続し、さらに前記第二のGRINレンズの他端にNA2よりも大きな開口数NA1の第一のGRINレンズを融着接続したことを特徴とする光ファイバ結合部品である。
- [0019] 本発明の光ファイバ結合部品は、第一のGRINレンズ側の端部を発光源に対向して配置し、他端に光通信用の光ファイバを接続することで、発光源から放射された光を効率よく光通信用の光ファイバに送り込むものである。発光源から放射された光は順次第一のGRINレンズ、第二のGRINレンズを経て光ファイバに進入していくが、第一のGRINレンズの開口数NA1は第二のGRINレンズの開口数NA2よりも大きいので、第一のGRINレンズとして開口数の大きな(望ましくは、発光源の開口数NA<sub>s</sub>よりも大きな)ものを採用し、発光源から放射された光を効率よく第一のGRINレンズ内に進入させることができる。また、第二のGRINレンズの開口数NA2がNA1よりも小さいので、開口数の十分小さなものを選択でき、これにより第二のGRINレンズから光ファイバに至る光の臨界角を小さくできる(開口数が小さいとGRINレンズ内を蛇行して進む光の蛇行周期が長くなり、GRINレンズから出ていく光の臨界角も小さくなる)ので

、第二のGRINレンズから光ファイバへ光が効率よく進入する。

- [0020] (構成5)また本発明は、前記構成4の結合部品において、光ファイバの開口数( $NA_f$ )、第一のGRINレンズの開口数( $NA_1$ )、第二のGRINレンズの開口数( $NA_2$ )及び発光源の開口数( $NA_s$ )が、

$$NA_f \leq NA_2 < NA_s \leq NA_1$$

を満足するように構成されていることを特徴とする光ファイバ結合部品である。

- [0021]  $NA_s \leq NA_1$ であるので、発光源から放射された光が全て第一のGRINレンズ内に進入し、光の損失がなくなる。また、 $NA_f \leq NA_2 < NA_s$ であるので、第二のGRINレンズから光ファイバに至る光の臨界角が小さくなり、第二のGRINレンズから光ファイバへ光が効率よく進入する。したがって、全体として発光源から放射された光が効率よく光ファイバへ進入する。なお、通常は $NA_f = 0.15$ 、 $NA_s = 0.43$ である。

- [0022] (構成6)また本発明は、前記構成4又は5の結合部品において、前記第一のGRINレンズの開口数 $NA_1$ が0.43以上であることを特徴とする光ファイバ結合部品である。前記のように、一般的な発光源(半導体レーザ)の開口数は0.43であるから、第一のGRINレンズの開口数を0.43以上とすることで、一般的な発光源よりも大きな開口数となる。

- [0023] (構成7)また本発明は、前記構成4〜6のいずれかの結合部品において、前記第一のGRINレンズの長さ $Z_1$ が、中心部のガラスの屈折率を $n_0$ 、レンズ1の半径を $d_1$ 、発光源との距離を $L$ としたときに、

$$Z_1 = (n_0 * d_1 / NA_1) \arctan(d_1 / (NA_1 * L))$$

を満足することを特徴とする光ファイバ結合部品である。

- [0024]  $Z_1 = (n_0 * d_1 / NA_1) \arctan(d_1 / (NA_1 * L))$  とすることで第一のGRINレンズに進入した光が、その終端において平行光線となり、効率よく第二のGRINレンズに入射する。また、第一のGRINレンズの開口数が多いことと相俟って、発光源との距離を長くし、組み立て性を良くすることができる。

- [0025] (構成8)また本発明は、前記構成7の結合部品において、前記第二のGRINレンズの長さ $Z_2$ が、伝播する光線の蛇行周期の略1/4の長さあるいはその奇数倍の長さで

あることを特徴とする光ファイバ結合部品である。

- [0026] 前記構成7によって、第二のGRINレンズには第一のGRINレンズから平行光線が入射する。第二のGRINレンズの長さ $Z_2$ が、伝播する光線の蛇行周期の略1/4の長さあるいはその奇数倍の長さであるので、入射した平行光線は終端において、光ファイバ4の中心軸に集光する。このとき、第二のGRINレンズの集光性は第一のGRINレンズに比べ小さいので、緩やかな角度で集光することとなり、光が効率よく光ファイバに進入する。
- [0027] (構成9)また本発明は、前記構成4〜8のいずれかの結合部品において、前記第一及び第二のGRINレンズは熱膨張係数が $15 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$ 以下であり、且つ少なくとも第一のGRINレンズはゾルゲル法により作成されたことを特徴とする光ファイバ結合部品である。第一、第二のGRINレンズは熱膨張係数を $15 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$ 以下とすることで、第一と第二のGRINレンズの融着、第二のGRINレンズと石英ガラスである光ファイバとの融着を瑕疵なく行うことができるようになり、生産性に優れ(軸合わせ不要、歩留まり向上など)、接続部の変質、光の損失の問題が解消される。このような熱膨張率を有し、開口数の大きな第一のGRINレンズはゾルゲル法によって製造可能となる。開口数の小さな第二のGRINレンズは従来の公知方法によっても製造できる。
- [0028] (構成10)また本発明は、前記構成1〜9のいずれかの結合部品において、前記光ファイバが単一モード光ファイバであることを特徴とする光ファイバ結合部品である。本発明の結合部品において、光ファイバとしては最も一般的な単一モード光ファイバを使用できる。単一モード光ファイバは、通常、中心部の屈折率の比較的大きなコアと、その周囲の屈折率の比較的小さなクラッドからなり、コアの直径は $10 \mu\text{m}$ 程度、クラッドの直径(ファイバの径)は $125 \mu\text{m}$ 程度である。

#### 発明の効果

- [0029] 本発明のGRINレンズ付きの光ファイバ結合部品によれば、光ファイバとほぼ変わらない太さとすることができ、結合系全体が小さくて良いので、複数の半導体レーザや複数の光ファイバが短い間隔で並んでいる半導体レーザアレイと光ファイバアレイとの結合が可能である。作動距離(発光源との距離)を大きくできるので結合系の組み立てが容易で、レンズを傷つけるおそれもない。結合損失を著しく低減できることは

勿論である。また、本発明のGRINレンズ付きの光ファイバ結合部品は、全て光ファイバ形で、既存のファイバ融着接続技術をそのまま利用して作製できるため、作製が簡単で大量生産も可能であるという大きな効果がある。

### 図面の簡単な説明

[0030] [図1]GRINレンズの説明図である。

[図2]実施例の光ファイバ結合部品の説明図である。

[図3]実施例の光ファイバ結合部品の形成過程の説明図である。

[図4]GRINレンズの形成過程の説明図である。

### 符号の説明

- [0031]
- 1 第一のGRINレンズ
  - 2 第二のGRINレンズ
  - 3 半導体レーザ
  - 4 光ファイバ
  - 21 容器
  - 22 ウエットゲル層
  - 23 ガラス体
  - 24 GRINレンズ母体

### 発明を実施するための最良の形態

[0032] 次に、図2に基づいて本発明の実施形態を説明する。開口数NAsの半導体レーザ3と、NAsと同じかそれよりもやや大きなNAを持つ第一のGRINレンズ1(このGRINレンズのNAをNA1と呼ぶ。)との距離をLとすると、半導体レーザ1から開口数NAsに相当する放射半値全角  $\theta$  で放射される光は、第一のGRINレンズ1に受け入れられ、第一のGRINレンズ1内を伝播することが出来る。このとき、第一のGRINレンズ1の中心部の屈折率を $n_0$ 、その半径を $d1$ とし、第一のGRINレンズ1内の光線方程式を解くと、第一のGRINレンズ1の長さZ1を、

$$Z1 = (n_0 * d1 / NA1) \arctan(d1 / (NA1 * L)) \quad (1)$$

に調整することで、Z1の長さを伝播した放射半値全角  $\theta$  内の全ての光線は光ファイバの光軸に対して平行光線になる。但し、半導体レーザの放射光がGRINレンズ1の

半径 $d_1$ の側面に到達し蹴られないためには、

$$NA_1 \geq NA_s \quad (2)$$

のもと、近似的に

$$d_1 \geq L / ((1/NA_s - 1/NA_1) / NA_1)^{1/2} \quad (3)$$

を満足すればよい。式(1)(2)(3)から分かるように、特に、 $L/d_1 \ll 1$ の時には、 $Z_1 \sim (n_0 * d_1 / NA_1) * (\pi/2)$ となり (2)の条件のもと、いかなる半径 $d$ を設定しても、GRINレンズ1に入射した光は、GRINレンズ1の側壁に蹴られることは無い。

[0033] 次に、このような平行光線を、 $NA_f$ の光ファイバ4と同じかそれよりもやや大きな $NA$

$$NA_f \leq NA_2 \quad (4)$$

の第二のGRINレンズ2( $NA_2$ と呼ぶ。)に入射させる。このとき第一のGRINレンズ1の総ての平行光が、第二のGRINレンズの側壁に蹴られない、あるいは、半径 $d_2$ で開口数 $NA_2$ の第二のGRINレンズ2に取り込まれるためには、第一のGRINレンズと第二のGRINレンズ内の光線方程式を解くと

$$(NA_f/NA_2) * (d_2/d_1) \geq NA_s ((L/d_1)^2 NA_1 + 1/NA_1) \quad (5)$$

を満足するように半径 $d_1$ 、 $d_2$ を設定すればよい。特に、式(5)から分かるように、特に、 $L/d_1 \ll 1$ の時には

$$d_2/d_1 \geq (NA_2/NA_f) * (NA_s/NA_1) \quad (6)$$

を満足するように半径 $d_1$ 、 $d_2$ を決定すればよい。

第二のGRINレンズ2に入射された総ての平行光は、この第二のGRINレンズ2の長さ $Z_2$ を、第二のGRINレンズ2の伝播光の蛇行周期の1/4の長さ

$$Z_2 = (n_0 * d_2 / NA_2) * (\pi/2) \quad (7)$$

あるいはその奇数倍の長さとする、第一のGRINレンズ1の集光性に比べ小さな集光性の第二のGRINレンズ2により、緩やかな角度で光ファイバ4の中心軸に集光する。特に顕著なことは、光ファイバ4の中心軸に集光した光の中心軸となす角度は、第二のGRINレンズの小さな集光能力によって、光ファイバの臨界角と同じかやや小さくなる。このため、光ファイバ内に殆ど総て受け入れられ、結合効率が飛躍的に向上する。

[0034] 勿論、第一のGRINレンズ1と第二のGRINレンズ2、さらには光ファイバ4は融着接

合されているため、それぞれの接合面での反射損失はほぼ零となる。

まとめると、特に $L/d1 \ll 1$ の時には、結合効率を飛躍的に向上させるためには、

$$NA_f \leq NA_2 < NA_s \leq NA_1 \quad (8)$$

$$d_2/d_1 \geq (NA_2/NA_f) * (NA_s/NA_1) \quad (9)$$

を満足する第一と第二のGRINレンズ1, 2を光ファイバ3の先端に融着した構成にすることである。

- [0035] 以上の考察より、 $L/d1 \ll 1$ の時について説明すると、まず、半導体レーザにGRINレンズ付き光ファイバが近づけ易い作動距離 $L$  (例30 $\mu$ m)に設定する。次に、半径 $d_2$ で(8)を満足する開口数 $NA_2$ の第二のGRINレンズ2を選択し、その長さを、第二のGRINレンズ2の伝播光の蛇行周期の1/4の長さ((7)式)あるいはその奇数倍の長さ $Z_2$ に設定する。次に(9)式を用いて第一のGRINレンズ1の半径 $d_1$ を決める。通常は、 $d_1 = d_2$ に設定する。その値を(1)式に代入して第一のGRINレンズ1の長さ $Z_1$ を作動距離を用いて設定する。このように、第一のGRINレンズと半導体レーザとの距離 $L$ を設定すれば、組み立てる際に互いに接触あるいは衝突することが無い。また、(1)式で分かるように、 $Z_1$ の長さは逆三角関数の性質上一意的ではなく $\pi$ の複数倍存在するが、GRINレンズ1の加工の容易性を考慮して決めればよい。通常は $\pi$ 倍に設定することが望まれる。

- [0036] なお、これまで光ファイバ4を単一モード光ファイバとして説明してきたが、単一モード光ファイバに限定されることは無く、(8)式が満足されれば多モード光ファイバであっても良い。また、高出力のマルチモードLDでは、平行方向の発光領域と垂直方向の発光領域との比率が数十:1から数百:1にも達し、またレーザ光の垂直広がり角 $\theta_v$ と平行広がり角 $\theta_p$ とが極端に異なる( $\theta_v \gg \theta_p$ )。そのため、上述のような回転対称光学系では、対称性の良い光入射開口を(たとえば円形)有する光ファイバにLDレーザ光を効率良く導入させることは困難である。その対策として、垂直広がり角 $\theta_v$ に相当する $NA(NA_s$ と呼ぶ。)と同等かやや大きな開口数 $NA$ を持つ平板のGRINレンズ( $NA_1$ と呼ぶ。)を円筒形の第一のGRINレンズ1の替わりに挿入し、垂直広がり角 $\theta_v$ のみを第一の平板のGRINレンズで調整すればよい。

- [0037] また、半導体レーザからの放射光は、通常楕円形状を有しているが、第一のGRINレ

レンズ1は円筒形でなくても楕円形状の屈折率分布を持っていてもよい。いずれの場合にも、形状に関係なく(2)式を満足するGRINレンズを組み合わせることにより高効率の結合効率を得ることが出来る。

[0038] 次に、本発明の実施形態の形成方法などを図2、3に基づいて説明する。半導体レーザーモジュール(結合系)の構成は、図1に示すように、半導体レーザー3と第一と第二のGRINレンズ付き光ファイバとが $30\mu\text{m}$ 程度の作動距離をおいて対向配置されている。半導体レーザー3は、例えば、ピーク発振波長 $1330\text{nm}$ 、動作電流 $16\text{mA}$ 、動作電圧 $1.0\text{V}$ 、水平方向放射半値全角 $20^\circ$ 、垂直方向放射半値全角 $25^\circ$ とすることができる。GRINレンズ付き光ファイバは、コアとクラッドとを有する開口数 $\text{NAf}=0.15$ の単一モードファイバ4の一端に、第二のGRINレンズ2と第一のGRINレンズ1が当該順に接続されているものとすることができる。第一のGRINレンズ1と第二のGRINレンズ2の直径は、光ファイバ4の直径と同じかやや大きめに通常は設定される。図2の構成例では、GRINレンズ1、2の直径は、夫々同じで $150\mu\text{m}$ 、開口数 $\text{NA1}$ 、 $2$ は夫々 $0.5$ 、 $0.16$ に設定されている。第二のGRINレンズ2は、レンズ内を伝搬する光線の蛇行周期の略 $1/4$ の長さで、(7)式より略 $860\mu\text{m}$ に設定されている。一方、第一のGRINレンズの長さは、前記(1)式より求まり、ここでは $\pi$ 倍に取り、長さ略 $990\mu\text{m}$ に設定されている。

[0039] 上記のように構成されるGRINレンズ付き光ファイバは、以下のようにして製造される。先ず図3(a)に示す開口数 $\text{NAf}=0.15$ 、直径 $125\mu\text{m}$ の単一モード光ファイバ4の一端に開口数 $\text{NA2}=0.16$ の二乗形屈折率分布を有する直径 $150\mu\text{m}$ の第二のGRINレンズ2を融着接続器を用いて融着接続する。その後、第二のGRINレンズ内を伝搬する光の蛇行周期の $1/4$ 周期の長さ $860\mu\text{m}$ で切断する(図3(b))。次に、第二のGRINレンズと異なる開口数 $\text{NA1}=0.5$ 、直径 $150\mu\text{m}$ の二乗形屈折率分布を有する適当な長さの第一のGRINレンズ1の素材を第二のGRINレンズ2に融着接続する。その後第一のGRINレンズ1の長さが $990\mu\text{m}$ になるように切断研削するとGRINレンズ付き光ファイバが得られる(図3(c))。

[0040] 上記半導体レーザーモジュールを用いて、ピーク発振波長 $1330\text{nm}$ 、動作電流 $16\text{mA}$ 、動作電圧 $1.0\text{V}$ で、水平方向放射半値全角 $20^\circ$ 、垂直方向放射半値全角 $25^\circ$ の

放射特性をもつ半導体レーザと $NA1=0.5$ を有するGRINレンズ付き光ファイバを $30\mu m$ の距離で対向させたところ、結合損失は $1dB$ 以下と極めて高い結合効率を得られ、本発明の優位性が証明された。

### 実施例 1

- [0041] シリコンテトラメトキシド $75.5ml$ とイソプロパノール $183.4ml$ との混合液に $2$ 規定塩酸 $9.2ml$ を添加し、 $30$ 分間攪拌した後、チタンテトラ $n$ ブトキシド $9.8ml$ を加えた。その後、 $0.01$ 規定アンモニア水を添加し攪拌してウェットゲルを得た。前記ウェットゲルを $50^{\circ}C$ で $2$ 日間熟成した後、そのウェットゲルを $6$ 規定塩酸中に $2$ 時間浸漬し、外周部のチタンを溶出させることでゲル中にチタンの濃度分布を付与した。浸漬後、 $70^{\circ}C$ で乾燥させたて直径約 $10mm$ のドライゲルを得た。得られたドライゲルを、室温から $800^{\circ}C$ までは酸素雰囲気中で $150^{\circ}C/hr$ で昇温し、その後 $1250^{\circ}C$ までヘリウム雰囲気中で $50^{\circ}C/hr$ で昇温して焼成し透明なガラス体を得た。この円柱状ガラス体の屈折率分布を測定した結果、中心から周辺に向かってほぼ $2$ 乗カーブで減少する $NA=0.16$ の第二のGRINレンズの母体を得られた。
- [0042] 次に、シリコンテトラメトキシド $75.5ml$ とイソプロパノール $183.4ml$ との混合液に $2$ 規定塩酸 $9.2ml$ を添加し、 $30$ 分間攪拌した後、チタンテトラ $n$ ブトキシド $30.8ml$ を加えた。その後、 $0.01$ 規定アンモニア水を添加しウェットゲルを得た。前記ウェットゲルを $50^{\circ}C$ で $2$ 日間熟成した後、そのウェットゲルを $6$ 規定塩酸中に $2$ 時間浸漬し、ゲル中にチタンの濃度分布を付与した。浸漬後、ゲルをメタノール中に浸漬し、ゲル中の塩酸分の洗浄を行った。その後、上記ゲルを $6$ 規定塩酸中に $20$ 分間浸漬し、 $2$ 回目の濃度分布付与を行い、 $1$ 回目と同様にゲルをメタノール中に浸漬して塩酸の洗浄を行ってから乾燥させた。その後、上記ゲルを $6$ 規定塩酸中に $8$ 分間浸漬し、 $3$ 回目の濃度分布付与を行い、 $1$ 回目と同様にゲルをメタノール中に浸漬して塩酸の洗浄を行ってから乾燥させ直径約 $10mm$ のドライゲルを得た。得られたドライゲルを、室温から $350^{\circ}C$ までは $10^{\circ}C/hr$ で昇温し、その後 $1200^{\circ}C$ まで昇温して焼成し透明なガラス体を得た。この円柱状ガラス体の屈折率分布を測定した結果、中心から周辺に向かってほぼ $2$ 乗カーブで減少する $NA=0.5$ の第一のGRINレンズの母体を得られた。このように、ウェットゲル状態において複数回濃度分布を付与を行うことで、開口数



の大きなGRINレンズを形成できる。

[0043] これら2本の母体を夫々別々にカーボンヒータの電気炉に0.04mm/sで挿入しながら外径150  $\mu$ mのGRINレンズ状光ファイバに紡糸して、第一のGRINレンズ状光ファイバと第二のGRINレンズ状光ファイバを作製した。作製した第二のGRINレンズ状光ファイバを開口数0.15の単一モード光ファイバの一端に放電融着接続器を用いて融着接続した。その後、第二のGRINレンズ内を伝搬する光の蛇行周期の1/4周期長990  $\mu$ mで切断加工した。次に、第二のGRINレンズと異なる開口数0.5の第一のGRINレンズ状光ファイバを、前記と同じ放電融着接続器を使って第二のGRINレンズに融着接続した。その後、長さ860  $\mu$ mになるように切断研磨し、第一、第二のGRINレンズが付いた実施例1の付きの光ファイバ結合部品を得た。

[0044] 得られた光ファイバ結合部品を、ピーク発振波長1330nm, 動作電流16mA, 動作電圧1.0V, 水平方向放射半値全角20°, 垂直方向放射半値全角25の半導体レーザに30  $\mu$ mの作動距離で対向させたところ、結合損失が0.9dB以下の高い結合効率が得られた。

## 実施例 2

[0045] まず、第一に、実施例1と同じプロセスで、開口数NA=0.16の第二のGRINレンズの母体を作成した後、カーボンヒータの電気炉で紡糸し、外径150  $\mu$ mの第二のGRINレンズ状光ファイバを得た。

[0046] 続いて、シリコンテトラメトキシド76.6mlとイソプロパノール184.3mlとの混合液に2規定塩酸9.2mlを添加した後、超微粒子シリカ50mlを混合し、1時間攪拌して部分加水分解を行った。この溶液を8等分し、表1に示す濃度のチタンテトラnブトキシドを添加して、チタン成分の異なる1層から8層までの8種のゾルを時間をおいて作製した。その後、夫々時間をおいて0.01規定のアンモニア水を添加し、ゾルを調製した。

[0047] まず、1層目のゾルを内径50mmの円筒形ポリプロピレン容器に入れ、1100回転/分の速度で30分回転させ、円筒状の容器21の内壁に円筒状のウエットゲルを作製した。その後、同様なプロセスで、2層から8層のチタン成分の異なるゾル液を順次該容器21に入れて、容器21の内壁に同心円状に8層のチタンの添加量の異なるウエットゲル層22を積層した(図4(a))。作製した円筒状のウエットゲルを回転させながら

、60℃で1週間乾燥させてドライゲルを得た。ドライゲルは収縮して、内径26mm、外径13mmで、楕円率が0.04%以下の円筒であった。得られたドライゲルを室温から800℃までは酸素雰囲気中で150℃/hrで昇温し、その後1250℃までヘリウム雰囲気中で50℃/hrで昇温・焼成し透明なガラス体23を得た。この円筒状のガラス体23の両端を回転旋盤に固定し、回転しながら約2000℃の酸水素バーナ25で端部より順次加熱していくと、内径が閉じた円柱状のGRINレンズ母体24が得られた(図4(c))。

[0048] [表1]

	チタン添加量
1 層	0 ml
2 層	1.1 ml
3 層	1.6 ml
4 層	2.1 ml
5 層	2.6 ml
6 層	3.0 ml
7 層	3.5 ml
8 層	4.3 ml

[0049] このGRINレンズ母体24をカーボンヒータの電気炉に0.04mm/sで挿入しながら外径150  $\mu$ mのGRINレンズ状光ファイバに紡糸して、第一のGRINレンズ状光ファイバを作製した。作製した第一のGRINレンズ状光ファイバの屈折率分布を測定した結果、中心から周辺に向かってほぼ2乗カーブで減少する屈折率分布を持ち、その開口数はNA=0.53であった。ここで、1900℃以上の紡糸の時に中心部のチタン成分が若干飛散するため、表1に示すように8層のチタン添加量を多くし、屈折率の低下を防止した。

[0050] このようにして作製した、第二のGRINレンズ状光ファイバを開口数0.15の単一モード光ファイバの一端に放電融着接続器を用いて融着接続た。その後、第二のGRINレンズ内を伝搬する光の蛇行周期の1/4周期長990  $\mu$ mで切断加工した。次に、第二のGRINレンズと異なる開口数0.53の第一のGRINレンズ状光ファイバを、前

記と同じ放電融着接続器を使って第二のGRINレンズに融着接続した。その後、長さ840  $\mu\text{m}$ になるように切断研磨実施例2の光ファイバ結合部品を得た。

- [0051] 得られた光ファイバ結合部品を、ピーク発振波長1330nm, 動作電流16mA, 動作電圧1.0V, 水平方向放射半値全角 $20^\circ$ , 垂直方向放射半値全角 $25^\circ$ の半導体レーザに30  $\mu\text{m}$ の作動距離で対向させたところ、結合損失が0.9dB以下の高い結合効率が得られた。

### 実施例 3

- [0052] まず、第一に、実施例1と同じプロセスで、開口数 $\text{NA}=0.16$ の第二のGRINレンズの母体を作成した後、カーボンヒータの電気炉で紡糸し、外径150  $\mu\text{m}$ の第二のGRINレンズ状光ファイバを得た。
- [0053] 続いて、シリコンテトラメトキシド1.1gと表2に示す8種の添加量のタンタルエトキシドを添加混合し、メタノール1.3ccを添加混合して攪拌させた。その後超微粒子シリカ0.3gを混合し、1時間攪拌した後、時間をおいて夫々メタノール1.3ccと純水0.3ccを混合して滴下し、ゾルを調製した。
- [0054] まず、1層目のゾルを内径50mmの円筒形ポリプロピレン容器に入れ、1000回転/分の速度で30分回転させ、容器の内壁に円筒状のゲルを作製した。その後、同様なプロセスで、2層から8層のチタン成分の異なるゾルを順次該容器に入れて、容器の内壁に同心円状に8層のタンタル濃度の異なるウェットゲルを積層した。作製した円筒状のウェットゲルを回転させながら、 $60^\circ\text{C}$ で1週間乾燥させてドライゲルを得た。ドライゲルは、内径25mm外形14mmで、楕円率が0.04%以下の円筒であった。得られたドライゲルを室温から $800^\circ\text{C}$ までは酸素雰囲気中で $150^\circ\text{C}/\text{hr}$ で昇温し、その後 $1250^\circ\text{C}$ までヘリウム雰囲気中で $50^\circ\text{C}/\text{hr}$ で昇温・焼成して透明なガラス体を得た。
- [0055] [表2]

	チタン添加量
1 層	0 ml
2 層	1.1 ml
3 層	1.6 ml
4 層	2.1 ml
5 層	2.6 ml
6 層	3.0 ml
7 層	3.5 ml
8 層	4.3 ml

- [0056] この円筒状のガラス体から、前記実施例2と同様に閉じた円筒状のGRINレンズ母体を形成し、該母体をカーボンヒータの電気炉に0.04mm/sで挿入しながら外径150  $\mu$  mのGRINレンズ状光ファイバに紡糸して、第一のGRINレンズ状光ファイバを作製した。作製した第一のGRINレンズ状光ファイバの屈折率分布を測定した結果、中心から周辺に向かってほぼ2乗カーブで減少する屈折率分布を持ち、その開口数はNA=0.52であった。タンタルの場合には、実施例2で述べられているような、タンタルの飛散は無かった。
- [0057] このようにして作製した、第二のGRINレンズ状光ファイバを開口数0.15の単一モード光ファイバの一端に放電融着接続器を用いて融着接続した。その後、第二のGRINレンズ内を伝搬する光の蛇行周期の1/4周期長990  $\mu$  mで切断加工した。次に、第二のGRINレンズと異なる開口数0.53の第一のGRINレンズ状光ファイバを、前記と同じ放電融着接続器を使って第二のGRINレンズに融着接続した。その後、長さ840  $\mu$  mになるように切断研磨して実施例3の光ファイバ結合部品を得た。
- [0058] 得られた光ファイバ結合部品を、ピーク発振波長1330nm, 動作電流16mA, 動作電圧1.0V, 水平方向放射半値全角20°, 垂直方向放射半値全角25°の半導体レーザに30  $\mu$  mの作動距離で対向させたところ、結合損失が0.9dB以下の高い結合効率が得られた。

#### 実施例 4

- [0059] まず、第一に、実施例1と同じプロセスで、開口数 $NA=0.16$ の第二のGRINレンズの母体を作成した後、カーボンヒータの電気炉で紡糸し、外径 $150\mu\text{m}$ の第二のGRINレンズ状光ファイバを得た。
- [0060] 次に、シリコンテトラメトキシド、純水、塩酸をモル比で $1:5:0.001$ の割合に混合し、加水分解が完全に終わるまで攪拌してゾル液を得た。その後、超微粒子シリカを、ゾル内の $\text{SiO}_2$ との重量比が40%になるように該ゾル液に混合し、十分に攪拌した。その後、0.1規定のアンモニア水を添加しゾルを調整した。このゾルを内径50mmの円筒形ポリプロピレン容器に入れ、1000回転/分の速度で2時間回転させ、容器の内壁に円筒状のウエットゲルを作製した。このウエットゲルを50gのモレキュラーシーブ3Aを添加したイソプロパノールとアセトンを混合した処理液800ml中に浸漬して24時間攪拌する操作を行った後に、処理液を取り替えて再度同様の操作を行った。その後、円筒形状内に5gのチタンテトラnブトキシドとエタノール70mlとを混合した溶液を注入し5時間攪拌して、円筒形状のウエットゲルにチタンの濃度分布を付与した。このゲルをアセトンに浸漬し、チタンをゲルの細孔中に固定した。
- [0061] この作製したチタンの濃度分布を持つ円筒状のウエットゲルを回転させながら、 $60^\circ\text{C}$ で1週間乾燥させてドライゲルを得た。ドライゲルは、内径26mm外形13mmで、楕円率が0.04%以下の円筒であった。得られたドライゲルを室温から $800^\circ\text{C}$ までは酸素雰囲気中で $150^\circ\text{C}/\text{hr}$ で昇温し、その後 $1250^\circ\text{C}$ までヘリウム雰囲気中で $50^\circ\text{C}/\text{hr}$ で昇温・焼成し透明なガラス体を得た。
- [0062] この円筒状のガラス体から、前記実施例2、3と同様に閉じた円筒状のGRINレンズ母体を形成し、該母体をカーボンヒータの電気炉に $0.04\text{mm/s}$ で挿入しながら外径 $150\mu\text{m}$ のGRINレンズ状光ファイバに紡糸して、第一のGRINレンズ状光ファイバを作製した。作製した第一のGRINレンズ状光ファイバの屈折率分布を測定した結果、中心から周辺に向かってほぼ2乗カーブで減少する屈折率分布を持ち、その開口数は $NA=0.48$ であった。
- [0063] このようにして作製した、第二のGRINレンズ状光ファイバを開口数0.15の単一モード光ファイバの一端に放電融着接続器を用いて融着接続した。その後、第二のGRI

Nレンズ内を伝搬する光の蛇行周期の $1/4$ 周期長 $990\mu\text{m}$ で切断加工した。次に、第二のGRINレンズと異なる開口数0.48の第一のGRINレンズ状光ファイバを、前記と同じ放電融着接続器を使って第二のGRINレンズに融着接続した。その後、長さ $890\mu\text{m}$ になるように切断研磨して実施例4の光ファイバ結合部品を得た。

- [0064] 得られた光ファイバ結合部品を、ピーク発振波長 $1330\text{nm}$ 、動作電流 $16\text{mA}$ 、動作電圧 $1.0\text{V}$ 、水平方向放射半値全角 $20^\circ$ 、垂直方向放射半値全角 $25^\circ$ の半導体レーザに $30\mu\text{m}$ の作動距離で対向させたところ、結合損失が $0.9\text{dB}$ 以下の高い結合効率が得られた。
- [0065] 前記実施例4と同様に作製したチタンの濃度分布を固定したウエットゲルの外壁のみを6規定塩酸中に5分間浸漬し、ウエットゲルの周辺部分に固定されたチタン添加物を取り去り、急峻なチタンの濃度分布を付与した。得られたウエットゲルをメタノール中に浸漬して塩酸の洗浄を行って乾燥させて、内径 $26\text{mm}$ 外形 $13\text{mm}$ のドライゲルを得た。得られたドライゲルを管状炉に入れ、室温から $350^\circ\text{C}$ までは $10^\circ\text{C/hr}$ で昇温し、その後 $1200^\circ\text{C}$ まで昇温して焼成し、透明な円筒状のガラス体を得た。得られたガラス体を実施例1と同様に $150\mu\text{m}$ に紡糸し、屈折率分布を測定したところ、実施例よりもより2乗カーブに近く、開口数が0.55と高いGRINレンズであった。このGRINレンズを第一のGRINレンズとして、前記実施例1〜4と同様に光ファイバ結合部品を形成することで、高い結合効率の光ファイバ結合部品を得ることができる。
- [0066] さらに、実施例4におけるチタンテトラnブトキシドの替わりにタンタルプロポキシド $\text{Ta}(\text{OC}_3\text{H}_7)_5$ を用いて同様にタンタルの濃度分布の固定を行い、乾燥・焼結したが、得られたガラスの屈折率分布はほぼ2乗カーブで減少する屈折率分布で、その開口数は $\text{NA}=0.52$ であった。このGRINレンズを第一のGRINレンズとして、前記実施例1〜4と同様に光ファイバ結合部品を形成することで、高い結合効率の光ファイバ結合部品を得ることができる。

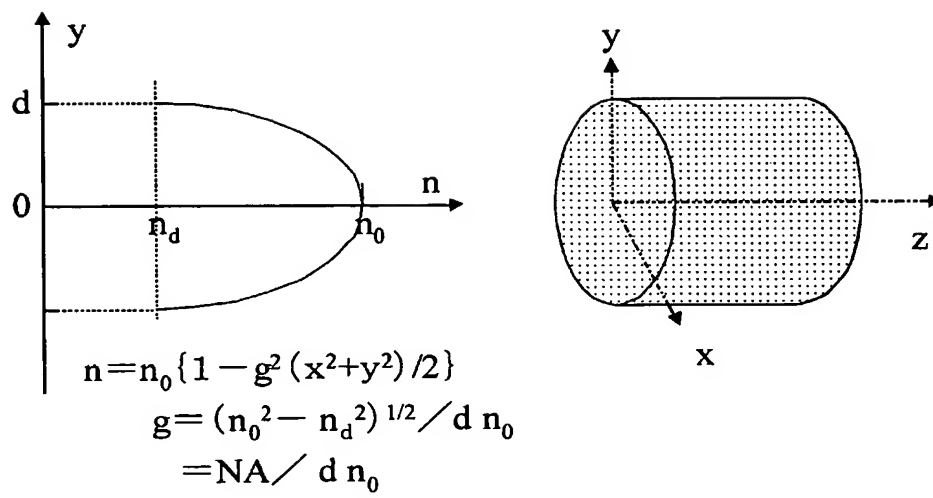
## 請求の範囲

- [1] 光ファイバの一端に少なくとも1つ発光源の開口数 $NA_s$ よりも大きな開口数 $NA$ をもつGRINレンズを融着接続したことを特徴とする光ファイバ結合部品。
- [2] 請求項1の結合部品において、前記開口数 $NA$ が0.43以上であることを特徴とする光ファイバ結合部品。
- [3] 請求項1又は2の結合部品において、前記GRINレンズは熱膨張係数が $15 \times 10^{-7} K^{-1}$ 以下であり、且つゾルゲル法により作成されたことを特徴とする光ファイバ結合部品。
- [4] 開口数 $NA_f$ の光ファイバの一端に開口数 $NA_2$ の第二のGRINレンズを溶融接続し、さらに前記第二のGRINレンズの他端に $NA_2$ よりも大きな開口数 $NA_1$ の第一のGRINレンズを融着接続したことを特徴とする光ファイバ結合部品。
- [5] 請求項4の結合部品において、光ファイバの開口数( $NA_f$ )、第一のGRINレンズの開口数( $NA_1$ )、第二のGRINレンズの開口数( $NA_2$ )及び発光源の開口数( $NA_s$ )が、 $NA_f \leq NA_2 < NA_s \leq NA_1$ を満足するように構成されていることを特徴とする光ファイバ結合部品。
- [6] 請求項4又は5の結合部品において、前記第一のGRINレンズの開口数 $NA_1$ が0.43以上であることを特徴とする光ファイバ結合部品。
- [7] 請求項4～6のいずれかの結合部品において、前記第一のGRINレンズの長さ $Z_1$ が、中心部のガラスの屈折率を $n_0$ 、レンズ1の半径を $d_1$ 、発光源との距離を $L$ としたときに、
$$Z_1 = (n_0 * d_1 / NA_1) \arctan(d_1 / (NA_1 * L))$$
を満足することを特徴とする光ファイバ結合部品。
- [8] 請求項7の結合部品において、前記第二のGRINレンズの長さ $Z_2$ が、伝播する光線の蛇行周期の略1/4の長さあるいはその奇数倍の長さであることを特徴とする光ファイバ結合部品。
- [9] 請求項4～8のいずれかの結合部品において、前記第一及び第二のGRINレンズは熱膨張係数が $15 \times 10^{-7} K^{-1}$ 以下であり、且つ少なくとも第一のGRINレンズはゾルゲル法により作成されたことを特徴とする光ファイバ結合部品。
- [10] 請求項1～9のいずれかの結合部品において、前記光ファイバが単一モード光フ

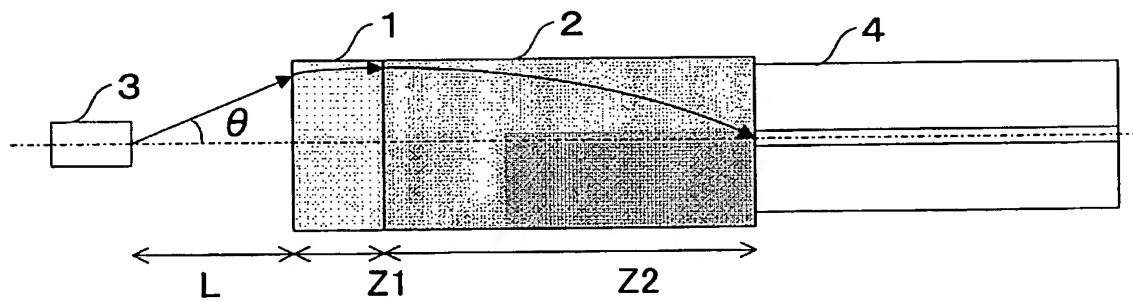
ファイバであることを特徴とする光ファイバ結合部品。



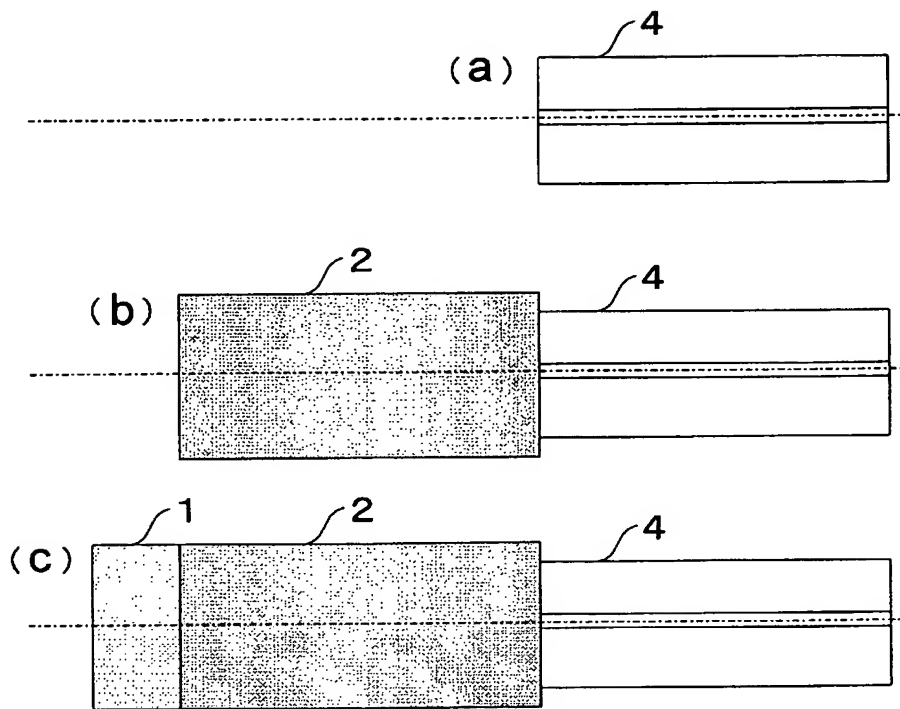
[図1]



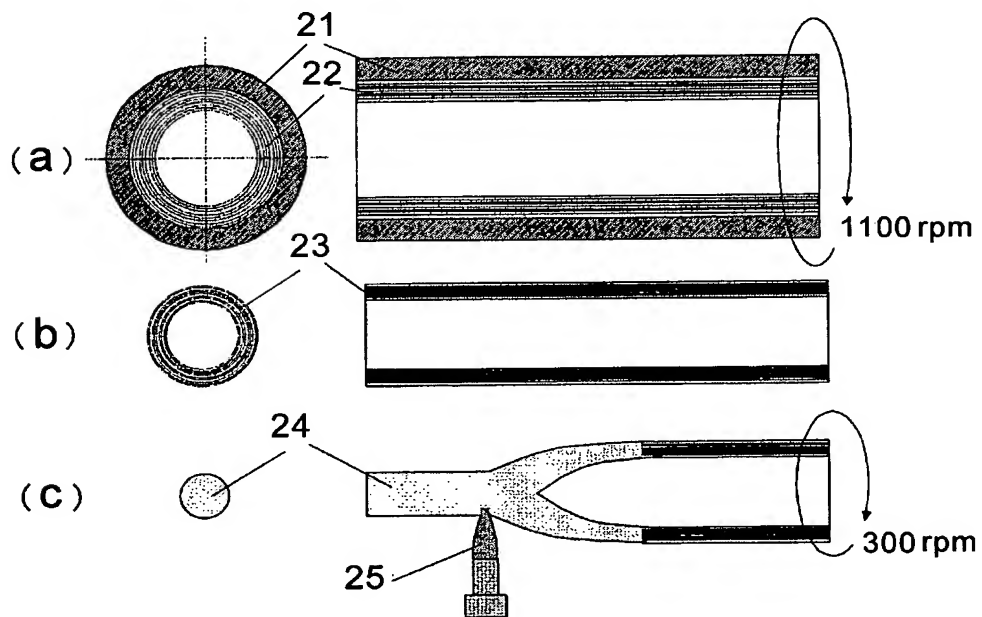
[図2]



[図3]



[図4]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/014181

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> G02B6/42, G02B6/32

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G02B6/42, G02B6/32, G02B3/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
WPI, JICST FILE (JOIS)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 62-296105 A (Nippon Sheet Glass Co., Ltd.), 23 December, 1987 (23.12.87), Page 2, lower left column, line 6 to page 3, lower right column, line 10; Fig. 1 (Family: none)	1-3, 10
Y	JP 2002-182073 A (Nippon Sheet Glass Co., Ltd.), 26 June, 2002 (26.06.02), Par. Nos. [0013] to [0019]; Fig. 1 (Family: none)	1-3, 10
Y	JP 2003-227963 A (Fujikura Ltd.), 15 August, 2003 (15.08.03), Par. Nos. [0021], [0022] (Family: none)	1-3, 10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
28 December, 2004 (28.12.04)

Date of mailing of the international search report  
25 January, 2005 (25.01.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/014181

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 7-333463 A (Fujikura Ltd.), 22 December, 1995 (22.12.95), Par. Nos. [0005] to [0013] (Family: none)	1-3,10
A	Kazuo SHINGYOUCHI et al., DETERMINATION OF DIFFUSION COEFFICIENT OF TITANIUM ION IN TiO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> WET GEL PREPARED FROM METAL ALKOXIDES DURING LEACHING, Journal of Non-Crystalline Solids, Vol.100, 1988, pages 383 to 387	1-10
A	Shirou KINISHI et al., r-GRIN glass rods prepared by a sol-gel method, Journal of Non-Crystalline solids, Vol.100, 1988, pages 511 to 513	1-10
A	JP 4-260609 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 16 September, 1992 (16.09.92), Par. Nos. [0004] to [0027] (Family: none)	1-10
A	JP 7-149525 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 13 June, 1995 (13.06.95), Par. Nos. [0017] to [0028] (Family: none)	1-10

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02B6/42, G02B6/32

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02B6/42, G02B6/32, G02B3/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI

JICSTファイル (JOIS)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 62-296105 A (日本板硝子株式会社) 1987. 12. 23, 第2頁左下欄第6行-第3頁右下欄第10行、第1図 (ファミリーなし)	1-3, 10
Y	JP 2002-182073 A (日本板硝子株式会社) 200 2. 6. 26, 【0013】-【0019】、第1図 (ファミリー なし)	1-3, 10
Y	JP 2003-227963 A (株式会社フジクラ) 200 3. 08. 15, 【0021】、【0022】 (ファミリーなし)	1-3, 10

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に関する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

28. 12. 2004

国際調査報告の発送日

25. 1. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

金高 敏康

2K

9712

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 7-333463 A (株式会社フジクラ) 1995. 1 2. 22, 【0005】 - 【0013】 (ファミリーなし)	1-3, 10
A	Kazuo SHINGYOUCHI et al, DETERMINATION OF DIFFUSION COEFFICIENT OF TITANIUM ION IN TiO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> WET GEL PREPARED FROM METAL ALKOXIDES DURING LEACHING, Journal of Non-Crystalline Solids, Vol.100, 1988, p.383-387	1-10
A	Shirou KINISHI et al, r-GRIN glass rods prepared by a sol-gel method, Journal of Non-Crystalline solids, Vol.100, 1988, p.511-513	1-10
A	J P 4-260609 A (オリンパス光学工業株式会社) 1992. 09. 16, 【0004】 - 【0027】 (ファミリーなし)	1-10
A	J P 7-149525 A (オリンパス光学工業株式会社) 1995. 06. 13, 【0017】 - 【0028】 (ファミリーなし)	1-10